

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 4 3 3 0

(43) 公開日 平成10年(1998)1月6日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 3 H	9/17		H 0 3 H	A
	9/58			A

審査請求 未請求 請求項の数 9

F D

(全 1 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-20102

(22) 出願日 平成9年(1997)1月16日

(31) 優先権主張番号 特願平8-122725

(32) 優先日 平8(1996)4月18日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72) 発明者 宇 波 俊 彦

京都府長岡京市天神2丁目26番10号 株式  
会社村田製作所内

(72) 発明者 井 上 二 郎

京都府長岡京市天神2丁目26番10号 株式  
会社村田製作所内

(74) 代理人 弁理士 岡田 全啓

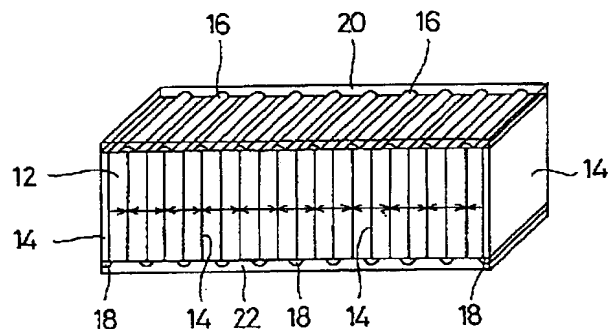
(54) 【発明の名称】 圧電共振子およびそれを用いた電子部品

(57) 【要約】

【課題】 特性の設計自由度が大きく、スプリアスが小さく、共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ が大きく、 $\Delta F$ や容量値などを調整することができる圧電共振子およびそれを用いた電子部品を得る。

【解決手段】 圧電共振子 10 は、複数の圧電体層と複数の電極 14 とを積層した基体 12 を含む。基体 12 は、電極 14 の両側で異なる向きに分極する。基体 12 の対向側面において、1つおきに電極 14 を絶縁膜 16, 18 で被覆する。それぞれの絶縁膜 16, 18 は、異なる電極 14 を被覆するように形成する。基体 14 の対向側面に外部電極 20, 22 を形成し、電極 14 に接続する。

10



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】 長手方向を有する基体、

前記基体の長手方向と直交するように前記基体内に配置される複数の電極、および前記電極を接続するために前記基体の同一または異なる側面に形成される 1 対の外部電極を含み、

前記基体は複数の圧電体層と複数の前記電極とが交互に積層された構造を含み、

前記電極によって、個々の前記圧電体層に、前記基体の長手方向の交流電界を印加して、前記基体に長さ振動モードの基本振動を励振することを特徴とする、圧電共振子。

【請求項 2】 前記圧電体層は前記電極の両側で前記基体の長手方向に沿って互いに逆向きに分極され、隣合う前記電極がそれぞれ別の前記外部電極に接続される、請求項 1 に記載の圧電共振子。

【請求項 3】 前記電極は前記基体断面の全面に形成され、前記電極の露出部が 1 つおきに絶縁膜で覆われた 1 対の接続部が形成され、前記 1 対の接続部に前記 1 対の外部電極を形成することによって隣合う前記電極がそれぞれ別の前記外部電極に接続された、請求項 1 または請求項 2 に記載の圧電共振子。

【請求項 4】 前記電極の一部が前記基体の側面に露出しないように形成され、前記電極の露出部分を前記 1 対の外部電極に接続することによって隣合う前記電極がそれぞれ別の前記外部電極に接続された、請求項 1 または請求項 2 に記載の圧電共振子。

【請求項 5】 前記基体には、分極されていない構成か、あるいは電界が印加されない構成の少なくともいずれかである不活性部が形成される、請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載の圧電共振子。

【請求項 6】 前記不活性部は前記活性部の両端に形成され、前記活性部の長さの比率が前記基体の長さの 5 0 % 以上である、請求項 5 に記載の圧電共振子。

【請求項 7】 さらに、支持部材と、前記基体の長手方向のほぼ中央部と前記支持部材との間に配置される取付部材とを含む、請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載の圧電共振子。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の圧電共振子を用いた電子部品であって、前記支持部材を、表面にパターン電極の形成された絶縁基板で構成し、前記絶縁基板上に取付部材を介して前記基体を取り付けるとともに、前記絶縁基板上に前記基体を覆うようにキャップを配置したことを特徴とする、電子部品。

【請求項 9】 請求項 7 に記載の圧電共振子を用いた電子部品であって、前記支持部材を、表面にパターン電極の形成された絶縁基板で構成し、

前記絶縁基板上に、ラダー型フィルタを構成するように複数の前記基体を取付部材を介して取り付けるとともに、

前記絶縁基板上に前記基体を覆うようにキャップを配置したことを特徴とする、電子部品。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 この発明は圧電共振子およびそれを用いた電子部品に関し、特にたとえば、圧電体の機械的共振を利用した圧電共振子、およびそれを用いた発振子、ディスクリミネータ、フィルタなどの電子部品に関する。

## 【0 0 0 2】

【従来の技術】 図 4 0 は従来の圧電共振子の一例を示す斜視図である。圧電共振子 1 は、たとえば平面視長方形の板状の圧電体基板 2 を含む。圧電体基板 2 は、厚み方向に分極される。圧電体基板 2 の両面には、電極 3 が形成される。この電極 3 間に信号を入力することにより、圧電体基板 2 の厚み方向に電界が印加され、圧電体基板 2 は長さ方向に振動する。また、図 4 1 に示すように、平面視正方形の板状の圧電体基板 2 の両面に電極 3 を形成した圧電共振子 1 がある。この圧電共振子 1 においても、圧電体基板 2 は厚み方向に分極されている。この圧電共振子 1 では、電極 3 間に信号を入力することにより、圧電体基板 2 の厚み方向に電界が印加され、圧電体基板 2 が拡がり振動する。

## 【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】 図 4 0 に示す圧電共振子は、圧電体基板が平面視長方形の板状であるため、強度的な制約からあまり厚みを薄くすることができない。そのため、電極間距離を小さくできず、端子間容量を大きくすることができない。これは、外部回路とのインピーダンス整合をとる場合に、極めて不都合である。また、複数の圧電共振子を直列および並列に交互に接続し、ラダー型フィルタを形成する場合、減衰量を大きくするためには直列共振子と並列共振子の容量比を大きくする必要がある。しかしながら、上述のように形状的な限界があり、大きい減衰量を得ることができない。

【0 0 0 4】 さらに、このような圧電共振子においては、長さモードの 1 次共振を利用しているが、構造的に、3 次、5 次などの奇数倍の高次モードや、幅モードのスプリアスも大きく発生してしまう。スプリアスを抑制するために、研磨加工を施したり、質量を付加したり、電極形状を変更するなどの対策が考えられるが、これらは製造コストの上昇につながる。

【0 0 0 5】 また、図 4 1 に示す圧電共振子では、拡がりの 3 倍波や厚みモードなどのスプリアスが大きく発生する。さらに、この圧電共振子では、長さ振動を利用する圧電共振子に比べて、同じ共振周波数を得るためにサイズが大きくなり、小型化が困難である。また、複数の

圧電共振子を用いてラダー型フィルタを形成する場合、直列共振子と並列共振子の容量比を大きくするために、直列に接続される共振子の厚みを大きくするだけでなく、圧電体基板の一部にのみ電極を形成して容量を小さくする手法が採用されている。この場合、部分電極にすることによって、容量だけでなく共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ も低下してしまう。それに合わせて、並列に接続される共振子についても、 $\Delta F$ を小さくしなければならず、結果的に圧電体基板の圧電性を有効に生かせず、フィルタの通過帯域幅を大きくできないという問題がある。

【0006】さらに、これらの圧電共振子は、電界方向、分極方向と振動方向とが異なる圧電横効果を利用している。この圧電横効果を利用した圧電共振子の電気機械結合係数は、電界方向、分極方向および振動方向が一致した圧電縦効果を利用した圧電共振子に比べて低い。そのため、圧電横効果を利用した圧電共振子では、共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ が比較的小さい。このことは、圧電共振子を発振子やフィルタとして使用したときに、帯域幅が小さいという欠点につながる。そのため、圧電共振子やそれを用いた電子部品において、特性の設計自由度が小さい。

【0007】それゆえに、この発明の主たる目的は、特性の設計自由度が大きく、スプリアスが小さく、共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ が大きく、 $\Delta F$ や容量値などを調整することができる圧電共振子およびそれを用いた電子部品を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明は、長手方向を有する基体と、基体の長手方向と直交するように基体内に配置される複数の電極と、電極を接続するために基体の同一または異なる側面に形成される1対の外部電極とを含み、基体は複数の圧電体層と複数の電極とが交互に積層された構造を含み、電極によって、個々の圧電体層に、基体の長手方向の交流電界を印加して、基体に長さ振動モードの基本振動を励振することを特徴とする、圧電共振子である。この圧電共振子において、圧電体層は電極の両側で基体の長手方向に沿って互いに逆向きに分極され、隣合う電極がそれぞれ別の外部電極に接続される。さらに、この圧電共振子において、たとえば電極は基体断面の全面に形成され、電極の露出部が1つおきに絶縁膜で覆われた1対の接続部が形成され、1対の接続部に1対の外部電極を形成することによって隣合う電極がそれぞれ別の外部電極に接続される。また、たとえば電極の一部が基体の側面に露出しないように形成され、電極の露出部分を1対の外部電極に接続することによって隣合う電極がそれぞれ別の外部電極に接続される。さらに、基体には、分極されていない構造か、あるいは電界が印加されない構成の少なくともいずれかである不活性部が形成されてもよい。この不活性部は活性部の両端

に形成され、活性部の長さの比率が基体の長さの50%以上であることが好ましい。さらに、支持部材と、基体の長手方向のほぼ中央部と支持部材との間に配置される取付部材とが含まれてもよい。また、この発明は、上述の圧電共振子を用いた電子部品であって、支持部材を、表面にパターン電極の形成された絶縁基板で構成し、絶縁基板上に取付部材を介して前記基体を取り付けるとともに、絶縁基板上に基体を覆うようにキャップを配置したことを特徴とする、電子部品である。さらに、この発明は、上述の圧電共振子を用いた電子部品であって、支持部材を、表面にパターン電極の形成された絶縁基板で構成し、絶縁基板上に、ラダー型フィルタを構成するように複数の基体を取付部材を介して取り付けるとともに、絶縁基板上に基体を覆うようにキャップを配置したことを特徴とする、電子部品である。

【0009】この圧電共振子では、基体が圧電体層と電極との積層構造で形成されているため、基体に電界を印加するための電極の数や間隔および大きさなどを調整することにより、容量値を調整することができる。さらに、圧電体層の分極方向と電界方向と振動方向とが一致するようにすれば、圧電縦効果を利用した圧電共振子となる。そのため、振動方向が分極方向や電界方向と異なる圧電横効果を利用した圧電共振子に比べて、電気機械結合係数が大きくなり、共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ が大きくなる。また、圧電縦効果を利用することにより、幅モードや厚みモードなどのような基本振動と異なるモードの振動が発生しにくい。また、不活性部を形成することにより、不活性部をトリミングしたり質量を付加することによって、 $\Delta F$ や共振周波数を調整することができる。

【0010】この圧電共振子を用いて、発振子、ディスクリミネータ、フィルタなどの電子部品を作製する場合、パターン電極を形成した絶縁体基板上に圧電共振子を取り付け、さらにキャップで覆うことによって、チップ型の電子部品とすることができる。

【0011】

【発明の効果】この発明によれば、圧電共振子の容量値を調整することができるため、圧電共振子を回路基板などに組み込んで用いるときに、外部回路とのインピーダンス整合をとりやすい。また、圧電縦効果を利用した圧電共振子とすれば、従来の圧電共振子に比べて、共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ が大きいため、広帯域の共振子を得ることができる。さらに、この圧電共振子では、基本振動と異なるモードの振動が発生しにくく、スプリアスが小さくなる。また、不活性部を調整することにより、 $\Delta F$ を調整することができるため、圧電共振子の帯域幅を調整することができる。

【0012】さらに、この圧電共振子を用いて電子部品を作製する場合、チップ型の電子部品とすることができるので、回路基板などに実装することが簡単である。こ

のような電子部品においても、圧電共振子の容量値を調整することによって、外部回路とのインピーダンスマッチングをとることが容易である。さらに、複数の圧電共振子を直列および並列に交互に接続してラダー型フィルタを形成する場合、直列接続される圧電共振子と並列接続される圧電共振子の容量比を調整することにより、減衰量を調整することができる。

【0013】この発明の上述の目的、その他の目的、特徴および利点は、図面を参照して行う以下の発明の実施の形態の詳細な説明から一層明らかとなろう。

【0014】

【発明の実施の形態】図1はこの発明の圧電共振子の一例を示す斜視図であり、図2はその図解図である。圧電共振子10は、たとえば直方体状の基体12を含む。基体12は、たとえば圧電セラミック材料で形成される。基体12内および基体12の長手方向の両端面には、複数の電極14が形成される。電極14は、その面が基体12の長手方向に直交するように形成される。基体12は、図2の矢印で示すように、1つの電極14の両側において、互いに逆向きとなるように基体12の長手方向に分極される。

【0015】基体12の対向する側面には、それぞれ複数の絶縁膜16、18が形成される。基体12の一方の側面においては、電極14の露出部が、1つおきに絶縁膜16で被覆される。また、基体12の他方の側面においては、一方の側面で絶縁膜16に被覆されていない電極14の露出部が、1つおきに絶縁膜18で被覆される。これらの絶縁膜16、18が形成された基体12の2つの側面が、後述の外部電極との接続部となる。

【0016】さらに、これらの接続部、すなわち基体12の絶縁膜16、18が形成された側面には、外部電極20、22が形成される。したがって、電極20には絶縁膜16で被覆されていない電極14が接続され、電極22には絶縁膜18で被覆されていない電極14が接続される。つまり、電極14の隣合うものが、それぞれ電極20および電極22に接続される。この圧電共振子10では、外部電極20、22が入出力電極として使用される。このとき、隣合う電極14間に電界が印加されるため、基体12は圧電的に活性となる。

【0017】この圧電共振子10を作製するには、図3に示すように、まず圧電セラミックのグリーンシート30が準備される。グリーンシート30の一方面上には、たとえば銀、パラジウム、有機バインダなどを含む導電ペーストが塗布され、導電ペースト層32が形成される。導電ペースト層32は、グリーンシート30の一端側を除いて全面に形成される。このグリーンシート30が、複数枚積層される。このとき、導電ペースト層32の形成されていない端部が交互に逆方向に配置されるように、グリーンシート30が積層される。さらに、積層体の対向する側面に導電ペーストが塗布されたのち焼成

することにより、図4に示すような積層ブロック34が形成される。

【0018】積層ブロック34内および両端面には、複数の電極36が形成される。これらの電極36は、交互に積層ブロック34の対向部に露出している。そして、積層ブロック34の対向部には、電極36が1つおきに接続された外部電極38、40が形成される。これらの外部電極38、40に直流電圧を印加することによって、積層ブロック34に分極処理が施される。このとき、積層ブロック34内部においては、隣合う電極36間に直流高電界が印加されるが、その向きは交互に逆方向となる。そのため、積層ブロック34は、図4の矢印に示すように、電極36の両側で互いに逆方向に分極される。

【0019】共振子の反共振周波数は、積層ブロック34の厚みで決まるので、これが所定の厚みに平面研磨される。次に、図5に点線で示すように、積層ブロック34が、ダイサーなどで複数の電極36に直交するように切断される。それによって、図6に示すように、板状ブロック42が形成される。そして、図7に示すように、板状ブロック42の両面に、樹脂絶縁材44が塗布される。板状ブロック42の一方面側においては、樹脂絶縁材44は、1つおきの電極36に塗布される。また、板状ブロック42の他方面側においては、一方面側で樹脂絶縁材44が塗布されていない電極36に、樹脂絶縁材44が塗布される。この板状ブロック42に外部電極48が形成されたのち、電極36に直交するように切断され、図1に示す圧電共振子10が形成される。

【0020】この圧電共振子10では、外部電極20、22に信号を与えることにより、基体12の互いに逆向きに分極した圧電体層に、互いに逆向きの電圧が印加されるため、圧電体層は全体として同じ向きに伸縮しようとする。つまり、外部電極20、22に接続された電極14によって、個々の圧電体層に伸縮の駆動力を発生させることによって、圧電共振子10全体としては、基体12の中心部をノードとした長さ振動モードの基本振動が励振される。

【0021】この圧電共振子10では、複数の圧電体層と電極とが交互に積層された構造であるため、これらの積層数や電極面積および電極間距離などを調整することにより、圧電共振子10の容量値を調整することができる。そのため、圧電共振子10を回路基板などに組み込んで用いるときに、外部回路とのインピーダンス調整をとりやすい。

【0022】また、図1に示す圧電共振子10では、基体12の分極方向、信号による電界方向および基体12の振動方向が一致している。つまり、この圧電共振子10は、圧電縦効果を利用した共振子となる。このような圧電縦効果を利用した圧電共振子10は、分極方向、電

界方向と振動方向とが異なる圧電横効果を利用した圧電共振子に比べて、電気機械結合係数が大きい。そのため、この圧電共振子10では、従来の圧電共振子に比べて、共振周波数と反共振周波数との差 $\Delta F$ が大きい。したがって、この圧電共振子10では、帯域幅の大きい特性を得ることができる。

【0023】圧電縦効果と圧電横効果の違いを測定するために、図8、図9および図10に示す圧電共振子を作製した。図8に示す圧電共振子は、4.0mm×1.0mm×0.38mmの圧電体基板の厚み方向の両面に電極を形成したものである。圧電体基板は、厚み方向に分極されており、電極に信号を与えることによって、長さ振動が励振される。図9に示す圧電共振子は、図8に示す圧電共振子と同じ寸法で、圧電体基板の長手方向の両面に電極を形成したものである。圧電体基板は、長手方向に分極されており、電極に信号を与えることによ

\*て、長さ振動が励振される。また、図10に示す圧電共振子は、4.7mm×4.7mm×0.38mmの圧電体基板の厚み方向の両面に電極を形成したものである。圧電体基板は厚み方向に分極されており、電極に信号を与えることによって、拡がり振動が励振される。つまり、図8および図10に示す圧電共振子が圧電横効果を利用しており、図9に示す圧電共振子が圧電縦効果を利用している。

【0024】これらの圧電共振子について、共振周波数 $F_r$ と電気機械結合係数 $K$ を測定し、その結果を表1、表2および表3に示した。表1は図8に示す圧電共振子の測定結果であり、表2は図9に示す圧電共振子の測定結果であり、表3は図10に示す圧電共振子の測定結果である。

【0025】

【表1】

	長さ方向 基本振動	長さ方向 3倍波	幅モード 振 動
共振周波数 (MHz)	0.460	1.32	1.95
電気機械結合係数 (%)	18.9	3.9	25.2

【0026】

※ ※【表2】

	長さ方向 基本振動	長さ方向 3倍波	幅モード 振 動
共振周波数 (MHz)	0.455	1.44	1.96
電気機械結合係数 (%)	42.9	12.2	4.0

【0027】

【表3】

	拡がり方向 基本振動	拡がり方向 3 倍 波	厚みモード 振 動
共振周波数 (MHz)	0.458	1.25	5.65
電気機械結 合係数 (%)	35.0	11.5	23.3

【0028】これらの測定結果からわかるように、圧電縦効果を利用した圧電共振子のほうが、圧電横効果を利用した圧電共振子より電気機械結合係数Kが大きく、したがって共振周波数と反共振周波数の差 $\Delta F$ が大きい。また、圧電縦効果を利用した圧電共振子で最も大きいスプリアスについては、長さの3倍波で電気機械結合係数Kが12.2%である。しかも、基本振動と異なる幅モードにおける電気機械結合係数Kは4.0%と小さい。それに対して、圧電横効果を利用した長さ振動の圧電共振子では、幅モードにおける電気機械結合係数Kが25.2%と大きく、圧電横効果を利用した拡がり振動の圧電共振子では、厚みモードにおける電気機械結合係数Kが23.3%と大きい。したがって、圧電縦効果を利用した圧電共振子は、圧電横効果を利用した圧電共振子に比べて、スプリアスが小さいことがわかる。

【0029】なお、基体12に形成された電極14を外部電極20、22とを接続するためには、図11に示すように、電極14を交互に基体12の対向する側面に引き出してもよい。そして、基体12の対向する側面に、外部電極20、22を形成すればよい。この圧電共振子10では、電極14が1つおきに露出しているため、基体12の側面に外部電極20、22を形成するだけで、電極14が1つおきに外部電極20、22に接続される。したがって、基体12の側面に絶縁膜を形成する必要がない。この圧電共振子10では、基体12の断面において、全面に電極14が形成されていない。したがって、隣接する電極14の対向面積は、全面電極に比べて小さい。そのため、この対向面積によって、圧電共振子10の容量や $\Delta F$ を変えることができる。

【0030】また、この圧電共振子10では、図12に示すように、基体12に圧電的に活性な活性部と、圧電的に不活性な不活性部とを形成することができる。この場合、たとえば、基体12の両端面には電極14が形成されず、基体12の両端側の電極14のいくつか、連続して絶縁膜16、18で被覆される。この実施例では、基体12の両端側から連続して3つの電極14が、絶縁膜16で被覆される。また、基体12の両端側から連続して2つの電極14が、絶縁膜18で被覆される。

そして、絶縁膜16、18の形成された基体12の側面に、外部電極20、22が形成される。それによって、内部の電極14と外部電極20、22が接続される。ただし、基体12の両端側においては、電極14のいくつかが外部電極20、22に接続されない。

【0031】したがって、基体12の中央部では、隣合う電極14間に電界が印加されるため、基体12は圧電的に活性となる。しかしながら、基体12の両端部においては、電極14が絶縁されているため、隣合う電極14間に電界が印加されず、圧電的に不活性となる。したがって、図12に斜線で示すように、基体12の中央部に入力信号に対する活性部24が形成される。また、基体12の両端部に入力信号に対する不活性部26が形成される。

【0032】この圧電共振子10では、基体12の両端側に不活性部26が形成されていることにより、この不活性部26を調整することにより、共振周波数を調整したり、共振周波数と反共振周波数の差 $\Delta F$ を調整することができる。つまり、基体12の長手方向の端面を研磨したり、質量を付加したりして、圧電共振子10の共振周波数および/または反共振周波数を調整することができる。

【0033】さらに、この圧電共振子10では、先にも述べたように、たとえば基体12の層数を調整することにより、共振子の容量を調整することができる。つまり、基体12は、圧電体層と電極14とが交互に積み重ねられた構造であり、電気的には並列に接続された構造である。基体12の全長が同じで層数のみを変えた場合、1層の厚みは層数に反比例するので、次のような関係が成り立つ。

共振子の容量 $\propto$  (活性部の層数/1層の厚み)  $\propto$  (活性部の層数)<sup>2</sup>

つまり、共振子の容量は、基体12の活性部の層数の2乗に比例する。したがって、圧電共振子10の基体12の活性部の層数を調整することにより、容量を調整することができ、容量の設計自由度が大きい。そのため、圧電共振子10を回路基板などに組み込んで用いるとき、外部回路とのインピーダンス整合をとることが容易であ

る。

【0034】実施例として、圧電セラミックのグリーンシート30の片面に銀、パラジウム、有機バインダなどを含む導電ペーストを塗布した後に交互に積層し、約1200℃の温度で一体的に焼成して、20mm×30mm×3.9mmの積層ブロック34を形成した。そして、スパッタリングによって外部電極38, 40を形成し、隣合う電極36間に直流高電界を印加することによって、隣合う圧電体層の分極の向きが互いに逆向きとなるように分極処理を施した。積層ブロック34の厚みを調整したのち切断して、1.5mm×30mm×3.8mmの板状ブロック42を形成した。次に、板状ブロック42の側面に露出した電極36を1つおきに樹脂絶縁材44で被覆し、その上にスパッタリングによって銀の電極を形成した。これをダイサーで切断して、1.5mm×1.5mm×3.8mmの圧電共振子10を形成した。

【0035】この圧電共振子10では、基体12の内部に19枚の電極14を形成し、これらの電極14を0.19mmのほぼ等しい間隔に配置した。そして、基体12の両端側の3つの圧電体層に電界が印加されないように、絶縁膜16, 18を形成した。したがって、基体12の中央の14枚の圧電体層が活性部24となり、両端側の各3層の圧電体層が不活性部26となる。この圧電共振子10の容量は830pFで、図13に示す周波数特性が得られた。比較例として、拡がり振動を行う圧電共振子の周波数特性が、図14に示される。図13および図14からわかるように、この発明の圧電共振子10

は、拡がり振動の圧電共振子に比べて、スプリアスが非常に少ない。

【0036】また、活性部24や不活性部26は、その形成位置によって、共振周波数と反共振周波数の差 $\Delta F$ が変化する。たとえば、図15に示すように、不活性部26を基体12の両端部および中央部に形成することができる。圧電共振子10の中央部から端部までの長さをa、中央部から活性部24の重心までの長さをb、活性部24の長さをc、基体12の幅および厚みをそれぞれW, Tとしたとき、活性部24の形成位置が変わることによって、容量Cfおよび $\Delta F$ がどのように変化するかを有限要素法で計算した。ここでは、a=1.89mm, W=T=0.8mm, c=0.86mmとして、b/aを変化させ、 $\Delta F$ と反共振周波数Faとの比 $\Delta F/Fa$ および容量Cfを図16に示した。図16から、活性部24の位置にかかわらず、容量Cfは変化しないことがわかる。それに対して、活性部24が基体12の両端に近づくほど、 $\Delta F$ が低下することがわかる。

【0037】また、この圧電共振子10では、活性部24と不活性部26の割合を変えることによって、 $\Delta F$ を変化させることができる。たとえば、図12に示す圧電共振子10について、活性部24の長さの基体12の長さに対する割合、つまり活性部比率を変えて、共振周波数Fr, 反共振周波数Fa,  $\Delta F$ およびその変化率を測定し、その結果を表4および図17に示した。

【0038】

【表4】

活性部長さ (mm)	活性部比率 (%)	Fr (kHz)	Fa (kHz)	$\Delta F$ (kHz)	$\Delta F$ 変化率 (%)
1.80	100.0	1047.4	1163.4	115.9	0.0
1.70	94.4	1042.4	1163.4	120.9	4.3
1.60	88.9	1038.6	1163.4	124.8	7.6
1.53	85.0	1036.6	1163.4	126.8	9.4
1.50	83.3	1035.9	1163.4	127.5	9.9
1.40	77.8	1034.5	1163.4	128.9	11.2
1.35	75.0	1034.3	1163.4	129.1	11.4
1.30	72.2	1034.3	1163.4	129.0	11.3
1.20	66.7	1035.5	1163.4	127.9	10.3
1.17	65.0	1036.1	1163.4	127.2	9.7
1.10	61.1	1038.1	1163.4	125.3	8.1
1.00	55.6	1042.0	1163.4	121.4	4.7
0.90	50.0	1047.4	1163.4	115.9	0.0
0.80	44.4	1054.3	1163.4	109.1	-5.9
0.70	38.9	1062.7	1163.4	100.6	-13.2
0.60	33.3	1072.7	1163.4	90.7	-21.8
0.50	27.8	1084.2	1163.4	79.1	-31.7
0.40	22.2	1097.3	1163.4	66.1	-43.0
0.30	16.7	1111.9	1163.4	51.5	-55.6
0.20	11.1	1127.9	1163.4	35.5	-69.4
0.10	5.6	1145.2	1163.4	18.2	-84.3

【0039】図17は、活性部比率が100%のとき、すなわち不活性部が存在しないときの $\Delta F$ を100%とし、活性部比率と $\Delta F$ の変化率との関係を示している。図17からわかるように、活性部比率が65~85%のとき $\Delta F$ が大きく、特に、活性部比率が75%のときに最大となっている。その値は、活性部比率が100%、すなわち不活性部がない場合に比べて、約10%も大きい。また、活性部比率が50%のとき、活性部比率が100%のときと $\Delta F$ は同じである。したがって、 $\Delta F$ の大きい圧電共振子を得ることを目的とするとき、活性部比率を50%以上にすればよい。

【0040】また、この圧電共振子10において、20層の圧電体層の中で14層が活性部24となっている場合、その容量は830pFであった。それに対して、同じ材料および外形寸法で、活性部比率を100%とし、圧電体層の数を1層にした場合、すなわち基体12の両端面に電極を形成した場合、その容量は3.0pFであった。さらに、20層の圧電体層の全てを活性部24と

した場合、その容量は1185.7pFとなった。このように、圧電共振子10を構成する基体12の活性部24の圧電体層の層数を変えることによって、最大約400倍の範囲で容量を変化させることができる。したがって、圧電共振子10の積層構造を変えることによって、広い範囲で容量を選択することができ、その設計自由度が大きくなっている。

【0041】なお、基体12内部の電極14と外部電極20、22とを接続するためには、図18に示すように、電極14が1つおきに露出するように、窓部50を形成した絶縁膜16、18を形成してもよい。そして、絶縁膜16、18上に外部電極20、22を形成すれば、電極14が交互に2つの外部電極20、22に接続される。また、図19に示すように、基体12の1つの側面に、2つの外部電極20、22を形成してもよい。この場合、基体12の1つの側面において、2列に絶縁膜16、18が形成されることにより、2列の接続部が形成される。これらの2列の絶縁膜16、18は、それ



ぞれ 1 つおきの電極 1 4 上に形成される。このとき、2 列の絶縁膜 1 6, 1 8 は、互いに異なる電極 1 4 上に形成される。そして、これらの絶縁膜 1 6 上に、2 列の外部電極 2 0, 2 2 が形成される。これらの圧電共振子 1 0 についても、上述の圧電共振子と同様の効果を得ることができる。さらに、図 2 0 に示すように、内部の電極 1 4 が基体 1 2 の側面に交互に露出するようにした圧電共振子 1 0 についても、活性部 2 4 と不活性部 2 6 とを形成することができる。

【0 0 4 2】また、図 2 0 に示すような内部の電極 1 4 が交互に露出している圧電共振子 1 0 では、隣接する電極 1 4 の対向面積を調整することにより、容量や  $\Delta F$  を調整することができる。たとえば、図 2 1 に示すよう \*

\*に、基体 1 2 の全長 3. 7 4 mm、活性部 2 4 の長さ 3. 6 mm、両端の不活性部 2 6 の長さ 0. 0 7 mm、基体 1 2 の幅 0. 8 mm、基体 1 2 の厚み 1. 0 mm で、0. 1 8 mm の圧電体層を 2 0 層としたとき、電極 1 4 の端部と基体 1 2 の厚み方向の側面との間のギャップ  $G$  を変えて、反共振周波数  $F_a$ 、容量  $C_f$  および  $\Delta F$  を有限要素法により算出した。そして、その結果を表 5 および図 2 2 に示した。これらの表 5 および図 2 2 からわかるように、ギャップ  $G$  が大きくなるにつれて、すなわち電極 1 4 の対向面積が小さくなるにつれて、 $C_f$  および  $\Delta F$  が小さくなる。

【0 0 4 3】

【表 5】

ギャップ ( $\mu\text{m}$ )	$F_a$ (kHz)	$F_a$ 変化率 (%)	$C_f$ (pF)	$C_f$ 変化率 (%)	$\Delta F$ (kHz)	$\Delta F$ 変化率 (%)
1	546.37	-0.52	267.58	27.47	53.36	30.15
50	546.75	-0.45	264.40	25.96	52.71	28.56
100	547.38	-0.33	251.69	19.90	50.05	22.07
150	548.20	-0.18	232.38	10.70	45.89	11.93
200	549.20	0.00	209.91	0.00	41.00	0.00
250	550.61	0.26	181.96	-13.32	35.06	-14.49
300	552.11	0.53	156.44	-25.47	29.75	-27.44

【0 0 4 4】このような圧電共振子 1 0 の変形例として、図 2 3 に示すように、圧電体層の同じ側において、異なる端部に引き出した電極 1 4 を形成してもよい。これらの 2 種類の圧電体層を積層することにより、図 2 4 に示すように、基体 1 2 の 1 つの側面において、電極 1 4 が 2 列に露出する。したがって、電極 1 4 が露出した部分に外部電極 2 0, 2 2 を形成することにより、電極 1 4 が 1 つおきに外部電極 2 0, 2 2 に接続される。

【0 0 4 5】たとえば、図 2 や図 1 2 に示すような基体 1 2 の断面の全面に電極 1 4 を形成した圧電共振子 1 0 では、基体 1 2 の断面の全面に電界が印加されるので、共振子の電気機械結合係数が高く、したがって  $\Delta F$  が大きい。また、圧電共振子 1 0 の容量値も大きい。さらに、圧電共振子 1 0 の製造時において、積層ブロックを切断するときに、あらかじめ積層ブロック断面のほぼ全面に電極が形成されているため、切断位置がずれても、共振子断面の全面に電極が形成されている。したがって、積層ブロックの切断位置を精密に決める必要がない。さらに、同じ圧電セラミックの積層ブロックからでも、切断方法を変えることによって、得られる共振子の断面形状や面積が変わり、容量が変わる。また、どの電極端部に絶縁膜を形成するかによって、さまざまな容量値および  $\Delta F$  を有する共振子を得ることができる。このように、同じ積層ブロックから多くの品種の圧電共振子を得ることができる。

【0 0 4 6】それに対して、たとえば図 1 1 や図 2 0 に示すような電極 1 4 の端部と基体 1 2 の側面との間にギャップを有する圧電共振子では、積層ブロックを切断するときに、ギャップが形成されるように位置決めをした上で切断する必要がある。しかしながら、このような圧電共振子 1 0 では、基体 1 2 の側面に絶縁膜を形成する必要がなく、製造の工数を少なくすることができる。

【0 0 4 7】不活性部 2 6 としては、図 2 5 に示すように、基体 1 2 の端部側に電極 1 4 を形成しないことによって、電界が印加されないようにしてもよい。この場合、基体 1 2 の端部側においては、分極されていてもよいし、分極されていなくてもよい。また、図 2 6 に示すように、基体 1 2 の端部側のみ分極しないようにしてもよい。この場合、電極 1 4 間に電界が印加されても、分極していない部分は圧電的に不活性となる。つまり、圧電体層が分極され、かつ電界が印加されたときにのみ、圧電的に活性になるものであり、それ以外は圧電的に不活性となる。この構成では、容量が不活性部に形成されることになり、容量を大きくすることが可能となる。さらに、図 2 7 に示すように、基体 1 2 の端面に、周波数調整用や外部回路との接続のための引き出しなどの目的で、小さい電極 5 2 を形成してもよい。

【0 0 4 8】この圧電共振子 1 0 を用いて、発振子やディスクリミネータなどの電子部品が作製される。図 2 8 は、電子部品 6 0 の一例を示す斜視図である。電子部品

60は、絶縁体基板62を含む。絶縁体基板62の対向する端部には、それぞれ2つずつ凹部64が形成される。絶縁体基板62の一方面上には、図29に示すように、2つのパターン電極66、68が形成される。一方のパターン電極66は、対向する凹部64間に形成され、その一端側から絶縁体基板62の中央部に向かって、L字状に延びるように形成される。また、他方のパターン電極68は、別の対向する凹部64間に形成され、その他端側から絶縁体基板62の中央部に向かって、直線状に延びるように形成される。これらのパターン電極66、68は、絶縁体基板62の端部から他方面に向かって、回り込むように形成される。

【0049】絶縁体基板62の中央部におけるパターン電極66の端部には、導電接着剤などによって突起70が形成される。そして、図30に示すように、突起70上に、上述の圧電共振子10が取り付けられる。このとき、基体12の中央部が突起70上に配置され、たとえば圧電共振子10の外部電極22が突起70に接合される。そして、他方の外部電極20が、導電ワイヤ72などによって、パターン電極68に接続される。このとき、導電ワイヤ72は、圧電共振子10の外部電極20の中央部に接続される。なお、突起70は、圧電共振子10側に設けられてもよい。この場合、圧電共振子10に設けられた突起70が、導電接着剤などによって、パターン電極66に取り付けられる。

【0050】さらに、絶縁体基板62上に、金属キャップ74がかぶせられる。このとき、金属キャップ74とパターン電極66、68とが導通しないように、絶縁体基板62およびパターン電極66、68上に絶縁性樹脂が塗布される。そして、金属キャップ74がかぶせられることによって、電子部品60が作製される。この電子部品60では、絶縁体基板62の端部から裏面に回り込むように形成されたパターン電極66、68が、外部回路と接続するための入出力端子として用いられる。

【0051】この電子部品60では、突起70が形成され、この突起70に圧電共振子10の中央部が固定されているため、圧電共振子10の端部が絶縁体基板62から離れた状態で配置され、振動が阻害されない。また、圧電共振子10のノード点である中央部が突起70に固定されるとともに、導電ワイヤ72が接続されるため、励振される長さ振動が弱められない。

【0052】また、この電子部品60は、ICなどとともに回路基板などに実装され、発振子やディスクリミネータとして用いられる。このような構造の電子部品60では、金属キャップ74で密封・保護されているため、リフロー半田などによる取り付けが可能なチップ部品として使用することができる。

【0053】この電子部品60を発振子として使用する場合、上述の圧電共振子10が用いられているので、スプリアスが小さく抑えられ、スプリアスによる異常発振

を防止することができる。また、圧電共振子10の容量値を自由に設定できるため、外部回路とのインピーダンス整合をとることが容易である。特に、電圧制御発振器用の発振子として使用する場合、共振子の $\Delta F$ が大きいので、従来にはない広い周波数可変範囲を得ることができる。

【0054】また、この電子部品60をディスクリミネータとして用いる場合、共振子の $\Delta F$ が大きいという特徴は、ピークセパレーションが広いという特徴につながる。さらに、共振子の容量設計範囲が広いため、外部回路とのインピーダンス整合をとることが容易である。

【0055】なお、絶縁体基板62に圧電共振子10を取り付ける方法として、図31および図32に示すように、パターン電極66、68の両方に導電性接着剤などの導電材料で形成した突起70を形成し、圧電共振子10の外部電極20、22を2つの突起70に接続してもよい。また、図33および図34に示すように、絶縁体基板62上に絶縁性接着剤などの絶縁材料で突起70を形成し、導電ワイヤ72などを用いて、圧電共振子10の外部電極20、22とパターン電極66、68とを接続してもよい。

【0056】また、複数の圧電共振子10を用いて、ラダーフィルタを作製することができる。この電子部品60では、図35および図36に示すように、絶縁体基板62上に、3つのパターン電極76、78、80が形成される。それぞれの両側のパターン電極76、80には、導電性接着剤などで突起82、86が形成される。また、中央のパターン電極78には、導電性接着剤などで2つの突起84、88が形成される。

【0057】これらの突起82、84、86、88に、それぞれ圧電共振子10a、10b、10c、10dの一方の外部電極22が取り付けられる。さらに、圧電共振子10a、10b、10cの外部電極20が、導電ワイヤ72で接続される。また、圧電共振子10dの外部電極20が、導電ワイヤ72でパターン電極80に接続される。そして、絶縁体基板62上に、金属キャップ74がかぶせられる。

【0058】この電子部品60は、図37に示すような、梯子型の回路を有するラダーフィルタとして用いられる。このとき、2つの圧電共振子10a、10cは直列共振子として用いられ、別の2つの圧電共振子10b、10dは並列共振子として用いられる。このようなラダーフィルタでは、並列の圧電共振子10b、10dの容量が、直列の圧電共振子10a、10cの容量よりも格段に大きくなるように設計されている。

【0059】ラダーフィルタの減衰量は、直列共振子と並列共振子の容量比に左右される。この電子部品60では、圧電共振子10a～10dの積層数を変えることによって、容量を調整することができる。したがって、圧電共振子10a～10dの容量を調整することにより、

従来の圧電横効果を利用した圧電共振子を用いた場合に比べて、少ない共振子数でより大きい減衰量をもったラダーフィルタを実現することができる。また、圧電共振子 1 0 a ~ 1 0 d の  $\Delta F$  が従来の圧電共振子より大きいため、通過帯域幅も従来の圧電共振子を用いたものより広いものを実現することができる。

【0 0 6 0】さらに、図 3 8 に示すように、圧電共振子 1 0 を用いて、2 端子型の発振子やディスクリミネータなどの電子部品 6 0 を作製することもできる。このような 2 端子型の電子部品 6 0 を作製するには、導電材料で形成された 2 つの端子 9 0 が準備される。これらの端子 9 0 は、フープ材 9 2 から延びるように形成されている。実際には、それぞれのフープ材 9 2 には、複数の端子 9 0 が並んで形成されている。端子 9 0 の中間部には折曲げ部 9 4 が形成され、さらに端子 9 0 の端部には H 字状の支持部材 9 6 が形成される。支持部材 9 6 は湾曲するように形成され、その中央部に突起状の取付部材 9 8 が形成される。そして、2 つの取付部材 9 8 が、互いに対向するように配置される。

【0 0 6 1】これらの取付部材 9 8 間に、圧電共振子 1 0 が保持される。このとき、取付部材 9 8 は、圧電共振子 1 0 の長手方向の中央部において、外部電極 2 0、2 2 に当接される。端子 9 0 に折曲げ部 9 4 が形成されていることにより弾性が与えられ、圧電共振子 1 0 は端子 9 0 によって弾性保持される。そして、圧電共振子 1 0 を覆うようにして、一方の開口部を有するケース 1 0 0 が被せられる。ケース 1 0 0 の開口部は紙などで塞がれ、さらにその上から樹脂封止される。そののち、端子 9 0 がフープ材 9 2 から切り離され、電子部品 6 0 が形成される。このように、電子部品 6 0 としては、チップ状以外の形状とすることができる。

【0 0 6 2】このように、この発明の圧電共振子 1 0 では、基体 1 2 を積層構造とすることにより、容量値を自由に設計することができ、外部回路とのインピーダンス整合をとることが容易である。また、圧電縦効果を利用した圧電共振子とすることにより、圧電横効果を利用した従来の圧電共振子に比べて、 $\Delta F$  が大きくなり、広帯域の共振子を得ることができる。さらに、スプリアスの小さい圧電共振子を得ることができる。また、活性部と不活性部の大きさや位置を調整することにより、 $\Delta F$  を調整することができる。さらに、この発明の電子部品 6 0 は、単純な構造であるため、安価に製造することができる。しかも、上述のような圧電共振子 1 0 の特性をもつ電子部品を得ることができる。

【0 0 6 3】この発明の圧電共振子 1 0 では、従来の圧電共振子に比べて、設計できるパラメータが多く、それによって実現できる特性の範囲が著しく広がる。これらのパラメータと  $\Delta F / F a$  との関係および容量  $C f$  との関係が、図 3 9 に示される。図 3 9 からわかるように、これらのパラメータを使って、圧電共振子 1 0 の特性の

設計範囲を広げることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の圧電共振子の一例を示す斜視図である。

【図 2】図 1 に示す圧電共振子の構造を示す図解図である。

【図 3】図 1 に示す圧電共振子を作製するためにセラミックグリーンシートを積層する状態を示す斜視図である。

10 【図 4】図 3 に示すセラミックグリーンシートからつくられた積層ブロックを示す図解図である。

【図 5】図 4 に示す積層ブロックの切断部分を示す図解図である。

【図 6】図 5 に示す積層ブロックを切断した板状ブロックを示す図解図である。

【図 7】図 6 に示す板状ブロックに樹脂絶縁材および外部電極を付与した状態を示す図解図である。

【図 8】比較例としての圧電横効果を利用した長さ振動をする圧電共振子を示す斜視図である。

20 【図 9】圧電縦効果を利用した長さ振動をする圧電共振子を示す斜視図である。

【図 1 0】比較例としての圧電横効果を利用した拡がり振動をする圧電共振子を示す斜視図である。

【図 1 1】この発明の圧電共振子の他の例を示す図解図である。

【図 1 2】この発明の圧電共振子のさらに他の例を示す図解図である。

【図 1 3】この発明の圧電共振子の周波数とインピーダンスとの関係を示すグラフである。

30 【図 1 4】従来の圧電共振子の周波数とインピーダンスとの関係を示すグラフである。

【図 1 5】基体の活性部と不活性部の分布を変えた圧電共振子の例を示す図解図である。

【図 1 6】活性部の分布と容量および  $\Delta F / F a$  との関係を示すグラフである。

【図 1 7】活性部比率と  $\Delta F$  との関係を示すグラフである。

【図 1 8】この発明の圧電共振子の変形例を示す図解図である。

40 【図 1 9】この発明の圧電共振子の他の変形例を示す図解図である。

【図 2 0】この発明の圧電共振子の別の例を示す図解図である。

【図 2 1】圧電共振子の内部の電極と基体側面との間のギャップを示す図解図である。

【図 2 2】内部の電極と基体側面との間のギャップおよび容量、 $\Delta F$  の関係を示すグラフである。

【図 2 3】図 2 0 に示す圧電共振子の変形例の圧電体層を示す平面図である。

50 【図 2 4】図 2 3 に示す圧電体層を有する圧電共振子を

示す図解図である。

【図 2 5】圧電共振子の不活性部の変形例を示す図解図である。

【図 2 6】圧電共振子の不活性部の他の変形例を示す図解図である。

【図 2 7】基体の端部に電極を形成した例を示す図解図である。

【図 2 8】上述の圧電共振子を用いた電子部品の一例を示す斜視図である。

【図 2 9】図 2 8 に示す電子部品に用いられる絶縁体基板 10 の例を示す斜視図である。

【図 3 0】図 2 8 に示す電子部品の分解斜視図である。

【図 3 1】絶縁体基板に対する圧電共振子の取り付け方法の他の例を示す図解図である。

【図 3 2】図 3 1 に示す圧電共振子の取り付け方法を示す側面図である。

【図 3 3】絶縁体基板に対する圧電共振子の取り付け方法のさらに他の例を示す図解図である。

【図 3 4】図 3 3 に示す圧電共振子の取り付け方法を示す側面図である。

【図 3 5】この発明の圧電共振子を用いたラダーフィルタの分解斜視図である。

【図 3 6】図 3 5 に示すラダーフィルタの絶縁体基板と圧電共振子とを示す斜視図である。

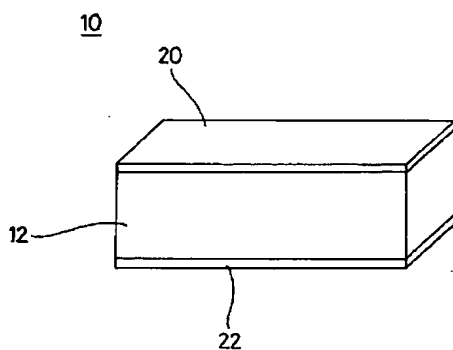
【図 3 7】図 3 5 に示すラダーフィルタの等価回路図である。

【図 3 8】2 端子型の電子部品の一例を示す分解斜視図である。

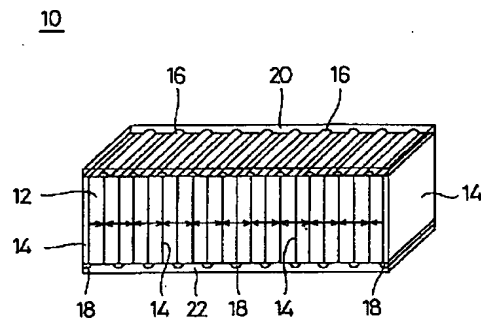
【図 3 9】 $C_f$ 、 $\Delta F/F_a$  とパラメータとの関係を示す図である。

【図 4 0】従来の圧電横効果を利用した圧電共振子の例を示す図解図である。

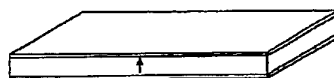
【図 1】



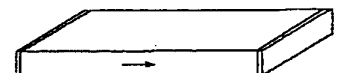
【図 2】



【図 8】



【図 9】

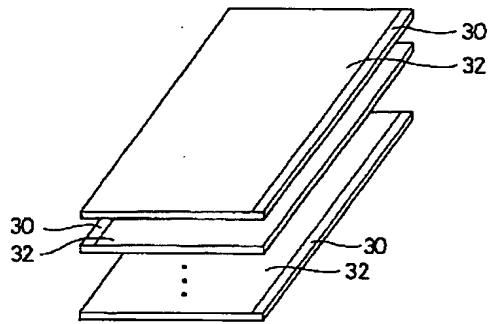


【図 4 1】従来の圧電横効果を利用した圧電共振子の他の例を示す図解図である。

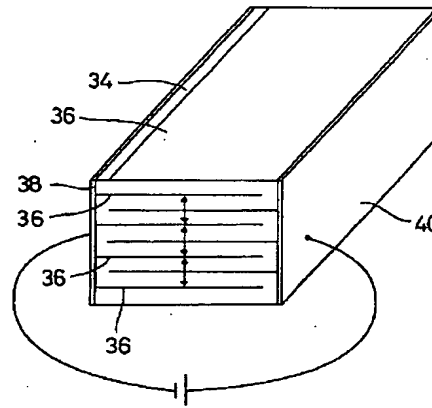
【符号の説明】

- 1 0 圧電共振子
- 1 2 基体
- 1 4 電極
- 1 6 絶縁膜
- 1 8 絶縁膜
- 2 0 外部電極
- 2 2 外部電極
- 2 4 活性部
- 2 6 不活性部
- 6 0 電子部品
- 6 2 絶縁体基板
- 6 4 凹部
- 6 6 パターン電極
- 6 8 パターン電極
- 7 0 突起
- 7 2 導電ワイヤ
- 20 7 4 金属キャップ
- 7 6 パターン電極
- 7 8 パターン電極
- 8 0 パターン電極
- 8 2 突起
- 8 4 突起
- 8 6 突起
- 8 8 突起
- 9 0 端子
- 9 2 フープ材
- 30 9 4 折曲げ部
- 9 6 支持部材
- 9 8 取付部材

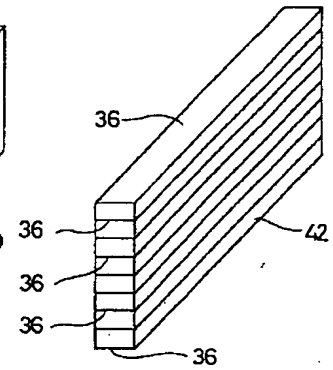
【図 3】



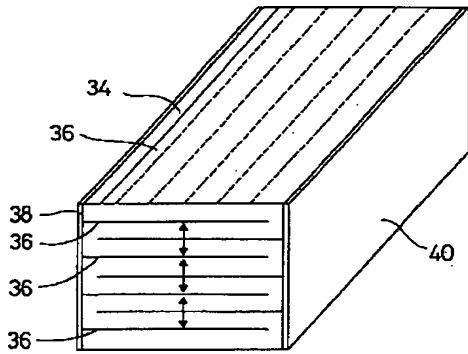
【図 4】



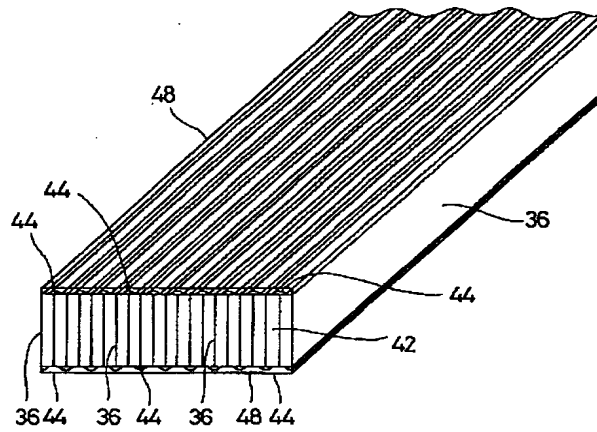
【図 6】



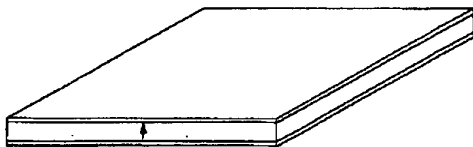
【図 5】



【図 7】

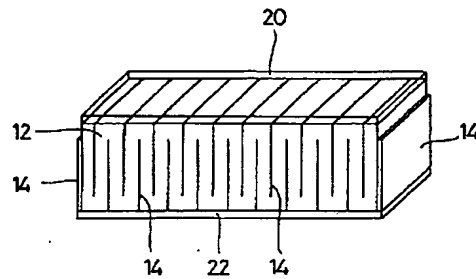


【図 10】

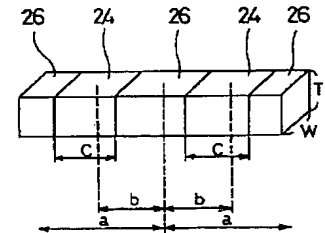


【図 11】

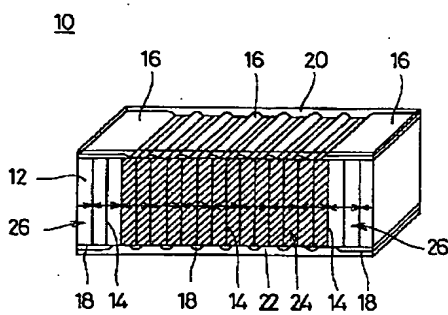
10



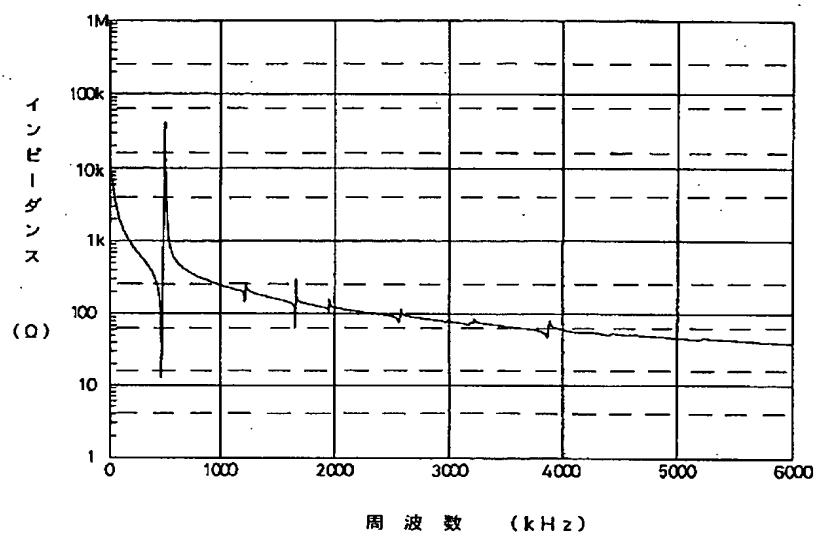
【図 15】



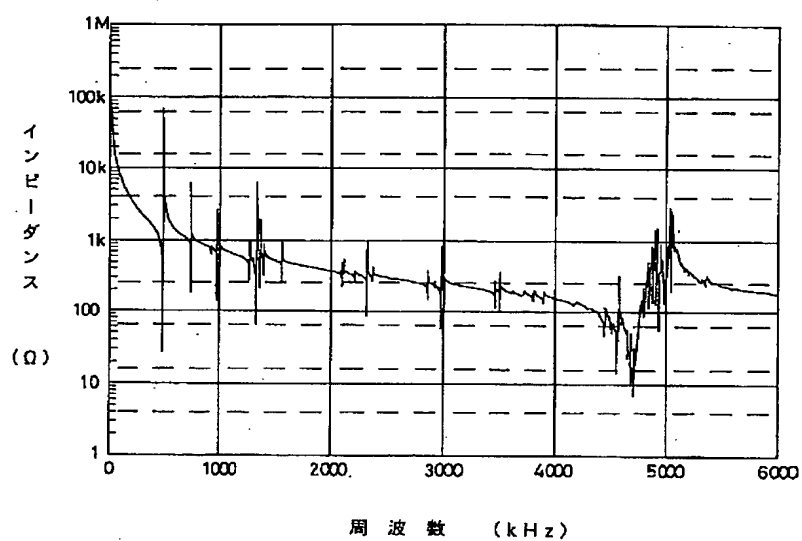
【図 12】



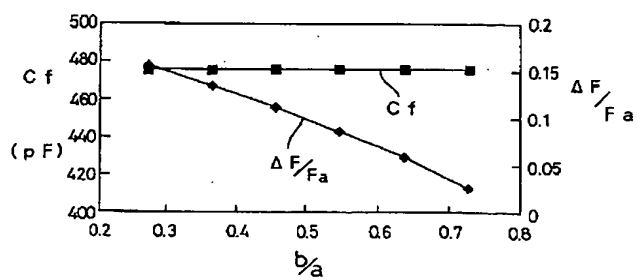
【図 13】



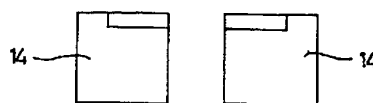
【図 14】



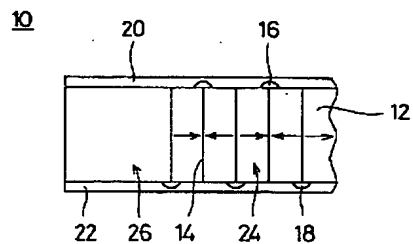
【図 16】



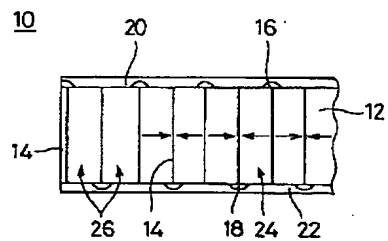
【図 23】



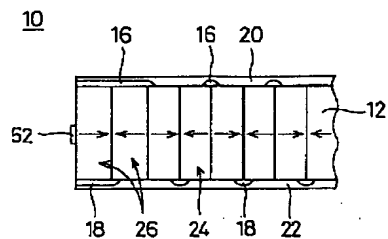
【図 25】



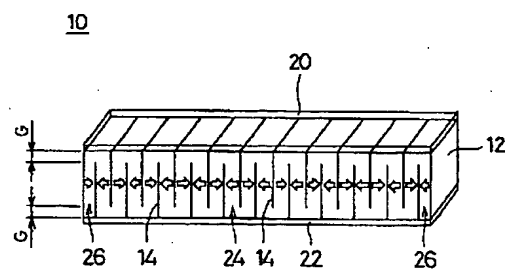
【図 26】



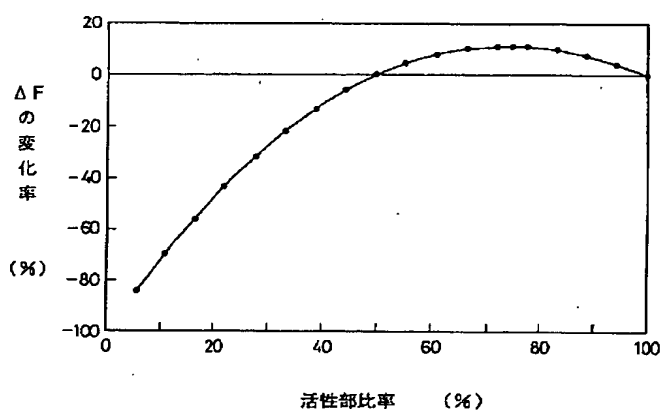
【図 27】



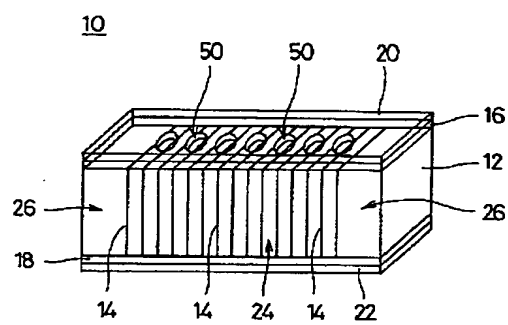
【図 21】



【図17】

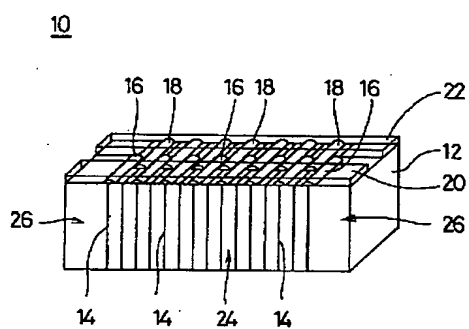


【図18】

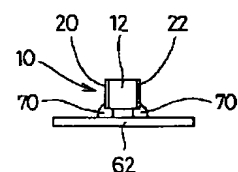
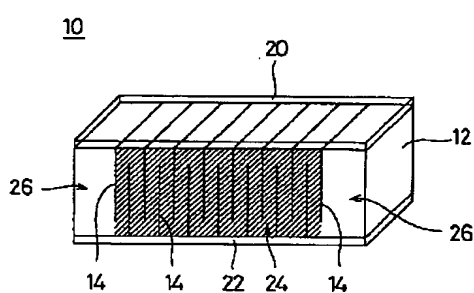


【図32】

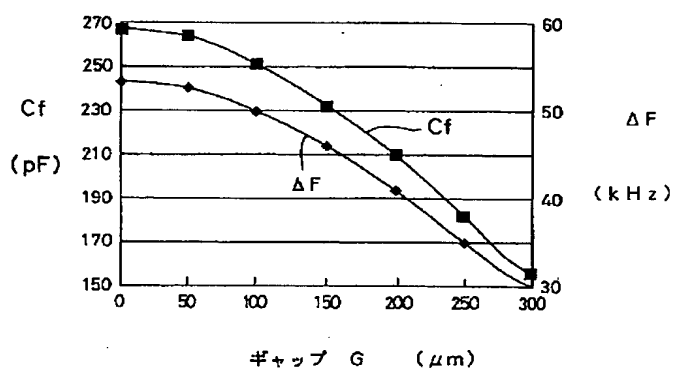
【図19】



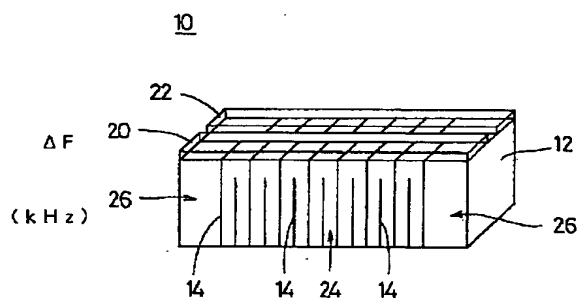
【図20】



【図22】

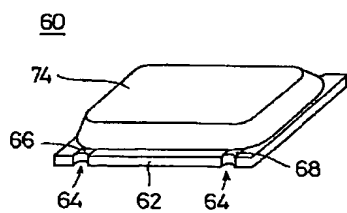


【図24】

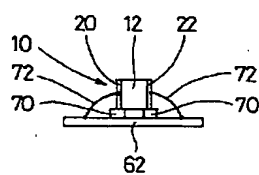
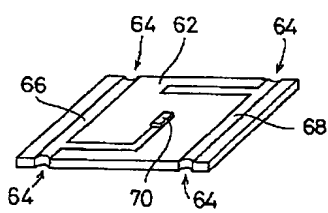


【図34】

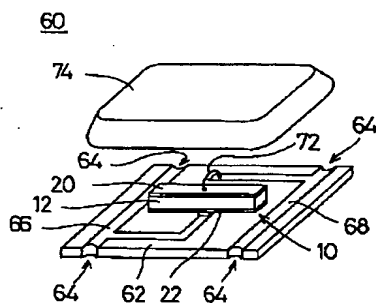
【図28】



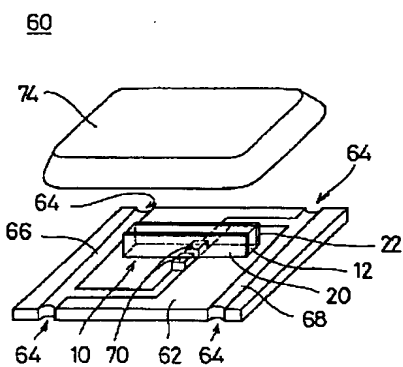
【図29】



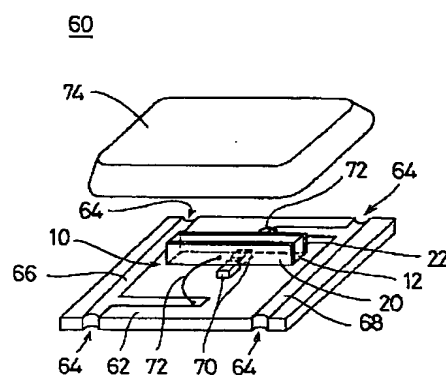
【図 30】



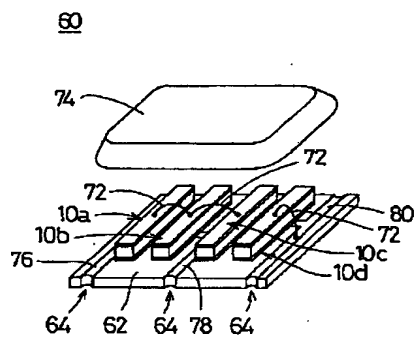
【図 31】



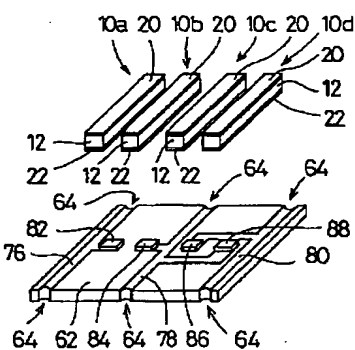
【図 33】



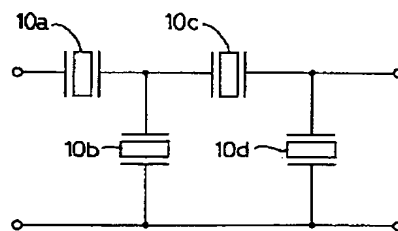
【図 35】



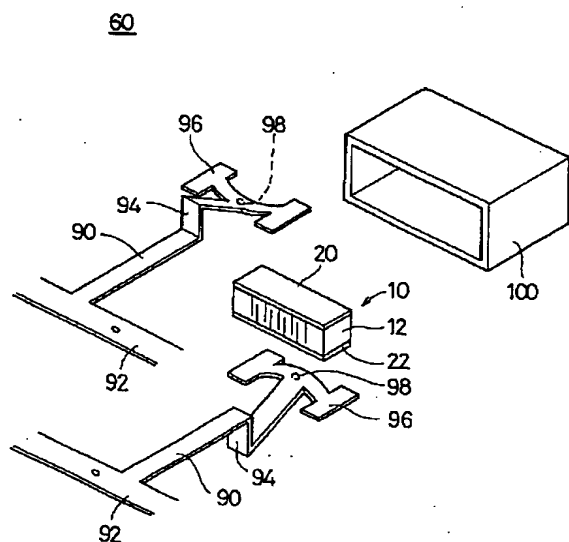
【図 36】



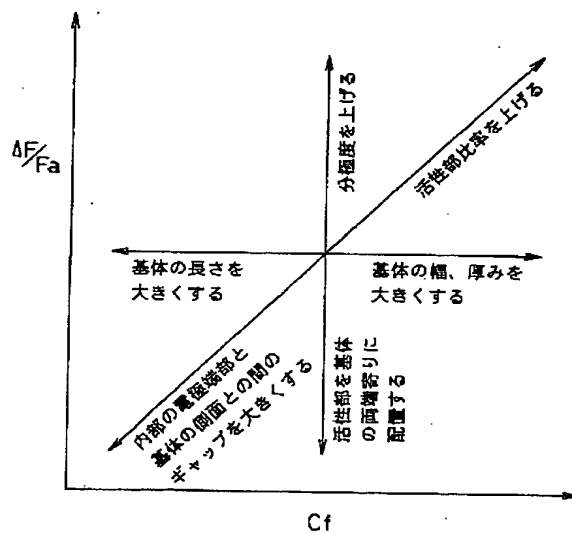
【図 37】



【図 38】

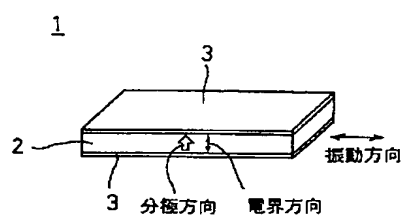


【図 39】





【図 4 0】



【図 4 1】

